

# 山形鋼の高力ボルト接合部に対する背面付加式耐震補強

[研究代表者] 薩川恵一 (工学部建築学科)  
 [共同研究者] 鈴木敏郎 (構造材料研究会)

## 研究成果の概要

本研究では、山形鋼高力ボルト接合部に対するボルト接合付加による背面付加補強方法を対象として、載荷実験及び数値解析により、補強の効果を把握するとともに、既往の実験結果を含めた分析を通して補強設計法を整理して、提示することを目的とする。本研究の成果として、提案した手法は保有耐力接合を満たすことが検証された。

研究分野：建築鋼構造

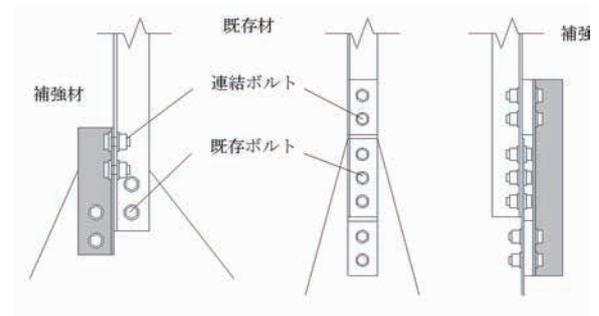
キーワード：耐震補強、山形鋼、接合部、引張軸力

### 1. 研究開始当初の背景

桁行方向でブレース構造が広く適用される屋内運動場、学校体育館等の低層建物は、災害時に避難所として利用されることが多いことから高い耐震性能が要求される。そのため、筋かいの耐震性能を発揮するまで接合部を破断させない保有耐力接合を施す必要がある。しかし、新耐震設計法以前の山形鋼筋かいは有効断面に無効突出脚を算入しており、接合部の耐力が不足しているため、近年の地震被害調査では山形鋼筋かい端接合部における破断被害が多数報告されている。

### 2. 研究の目的

図 1 に本研究で提案する補強方法について一連の検討を示す。図 1(a)には山形鋼高力ボルト接合部の突出脚側を高力ボルト接合した並列タイプの補強方法を示し、図 1(b)には山形鋼高力ボルト接合部の背面に高力ボルト接合により付加した乾式の背面補強タイプの補強方法を示す。図 1(a)の補強方法は既存ボルトと連結ボルトの距離を山形鋼の辺の長さの 1.5 倍程度以上とすることで連結ボルト孔側のみで有効断面が決まり、保有耐力接合を満たす知見を得ている。本報では図 1(b)の背面補強タイプ（以下、本補強法）を対象として載荷実験を通し、本補強方法の有効性を検証する。



(a) 並列補強タイプ (b) 背面補強タイプ

図 1 提案する補強方法

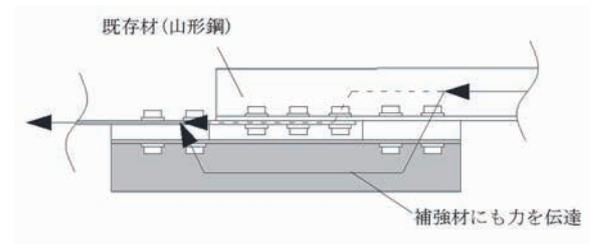


図 2 本補強方法の概要

表 1 材料試験結果

鋼材	鋼種	$\sigma_y$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_u$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Y.R. [%]	$\epsilon_u$ [%]	
L65×6	SS400	330	477	69	37	
L75×6		316	440	72	36	
L90×7		312	446	70	34	
ガセットプレート		t=6	276	407	68	40
		t=9	331	445	74	49

t : 鋼材板厚  $\sigma_y$  : 降伏応力度  $\sigma_u$  : 引張強さ,  
 Y.R. : 降伏比  $\epsilon_u$  : 破断伸び

### 3. 研究の方法

図2に本補強法の概要を示す。本補強法は既存材の既存ボルト前方とガセットプレートに補強材を取り付け、連結ボルトで接続する。また、補強材と既存ボルトが干渉しないようにスペーサーを介して補強材を取り付け2面せん断の摩擦接合とする。本補強法は山形鋼に作用する引張軸力を既存材の接合部のみで負担せず、補強材にも軸力を伝達することにより、既存接合部の応力負担の減少を図る。

表1に材料試験結果を示し、表2に試験体一覧及び実験結果を示す。実験変数は、山形鋼のサイズと連結ボルト本数及びボルト径である。L65×6, L75×6, L90×7の3種の既存材となる山形鋼に対して、既存ボルト2本及び3本の無補強試験体を基本試験体とする。補強を施した試験体は、既存材のボルト本数と連結ボルトの合計が5本となるように接合部を構成する。使用したボルトは全てF10Tとし、ボルト径は山形鋼L65×6, L75×6の試験体ではM16、L90×7の試験体はM20とする。L90×7の試験体のみ、連結ボルト径が1サイズ小さいM16も用意した。なお上下接合同士の間隔は300mmとする。

図3に本実験の载荷概要を示す。試験体は縦向きに設置し、試験機とは上部治具と下部治具を介してボルト接合する。载荷方法は試験体の下部を固定し、上部の軸方向に引張力を加える単調载荷で行い、接合部に発生した亀裂が進展して急激な耐力低下あるいは破断が確認できるまで行った。荷重は試験機に設置されたロードセルにより計測し、接合部の変位は図4右で示すように変位計により計測を行った。

### 4. 研究成果

図4に载荷実験の一例として、山形鋼L90×7を既存材とした試験体の荷重変形関係を示す。各図中の○印は初期すべり発生点、●印は最大耐力を示す。また図中は、高力ボルト摩擦接合部のすべりによる変形進行を除去している。降伏耐力は、初期剛性と二次剛性(5mm変形時の接線剛性)の交点にて評価する。図4(a)は、山形鋼L90×7の既存ボルト3本の補強効果を示し、図4(b)は、山形鋼L90×7を補強する際に連結ボルトを既存ボルトより1サイズ小さくした試験体の補強効果を示している。図4(a)では、補強した試験体は、無補強試験体と比べて降伏耐力、最大耐力が大きく上昇している。また既存ボルト5本の試験体は

表2 試験体一覧及び実験結果

試験体	接合部構成			最大耐力		降伏耐力 ePy [kN]	突出脚有効率 $\gamma_e$	保有耐力接合を満たす突出脚有効率 $\gamma_{req}$
	既存材	既存ボルト	補強材	計算値 cPu [kN]	実験値 ePu [kN]			
L65-2-3	L65×6	2-M16	L65×6	250	266	153	0.71	0.71
L65-2-N			3-M16	166	193	103		
L65-3-2		3-M16	L65×6	255	268	170		
L65-3-N			2-M16	201	232	122		
L65-5-N			5-M16	252	259	168		
L75-2-3	L75×6	2-M16	L75×6	312	280	143	0.67	0.67
L75-2-N			3-M16	222	157	122		
L75-3-2		3-M16	L75×6	323	284	182		
L75-3-N			2-M16	285	220	118		
L75-5-N			5-M16	285	220	118		
L90-2-3(M16)	L90×7	2-M20	L90×7	428	454	245	0.63	0.63
L90-2-3(M20)			3-M20	416	427	242		
L90-2-N		3-M20	L90×7	279	294	157		
L90-3-2(M16)			2-M16	428	465	272		
L90-3-2(M20)			2-M20	414	452	275		
L90-3-N	5-M20		342	350	223	0.68	0.68	
L90-5-N			419	426	263			

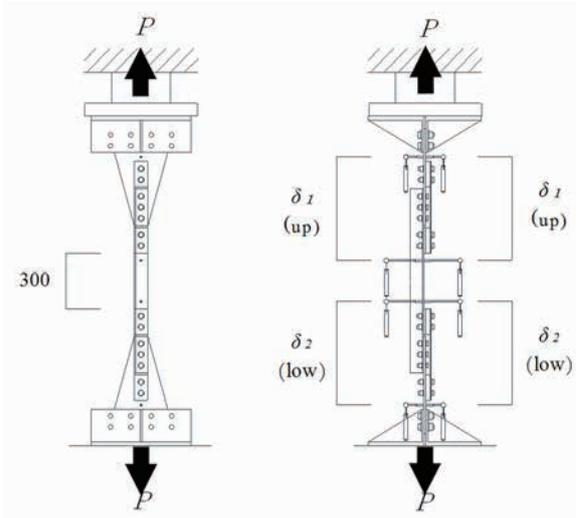


図3 载荷概要

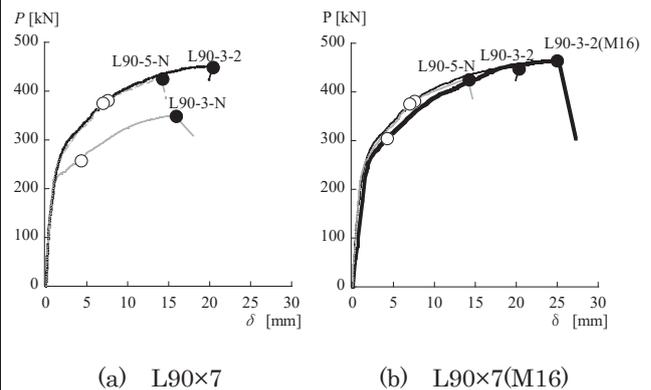


図4 荷重変形関係

降伏耐力と最大耐力がほぼ同様な結果となった。図4(b)では、連結ボルトを1サイズ小さくした試験体の最大耐力は、既存ボルトと連結ボルトのボルト径が同一サイズの試験体に比べて若干上昇がみられた。

表2に各試験体の最大耐力の実験値(ePu)と計算値(cPu)、降伏耐力(ePy)、突出脚有効率( $\gamma_e$ )、保有耐力接合( $\gamma_{req}$ )、破

断位置をまとめた実験結果一覧を示す。山形鋼 L65×6、L90×7 は、実験値と計算値がほぼ同じであるが、山形鋼 L75×6 では、実験値が計算値の約 8 割ほどであった。また、実験から得た補強試験体の最大耐力は、既存ボルト 5 本の無補強試験体の最大耐力よりもほぼ同じか若干上昇していることがわかる。载荷後の破断箇所は、無補強試験体では既存材ボルト部の断面であり、補強を行った試験体では連結ボルトの断面であった。

図 5 に各試験体ごとの突出脚有効率を示す。既存ボルト 3 本までの無補強では、保有耐力接合を満たしていないが補強した試験体と既存ボルト 5 本の無補強試験体は保有耐力接合を満たしている。既存材 L90×7 の補強試験体において連結ボルトを 1 サイズ小さくした試験体は、既存ボルトと連結ボルトのボルト径が同一サイズの試験体と比べ、最大耐力は上昇しているが、突出脚有効率はほぼ同等の結果となった。

本研究では、背面補強タイプを対象とした载荷実験を通して、本補強方法の有効性の検証を行った。本補強法を施した試験体は保有耐力接合を満たす結果となった。

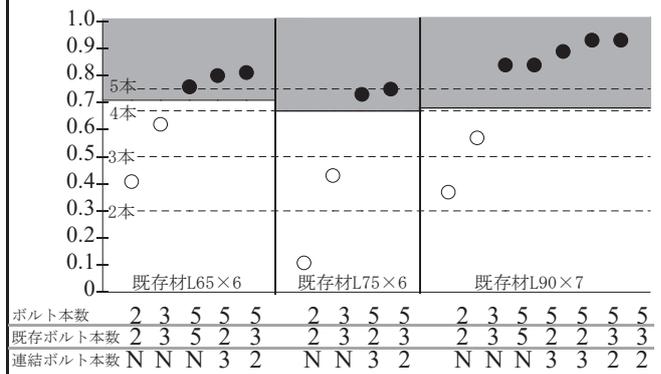


図 5 突出脚有効率一覧

5. 本研究に関する発表

- (1) 須崎由也, 平田博宗, 真辺高勢, 薩川恵一, 吉敷祥一, ”山形鋼筋かい端接合部に対する乾式補強、その 6 背面付加材による乾式補強の実験計画,” 日本建築学会学術講演梗概集, 2019. 9
- (2) 真辺高勢, 平田博宗, 崎由也, 薩川恵一, 吉敷祥一, ”山形鋼筋かい端接合部に対する乾式補強、その 7 背面付加材による乾式補強の実験結果,” 日本建築学会学術講演梗概集, 2019. 9
- (3) 平田博宗, 真辺高勢, 須崎由也, 薩川恵一, 吉敷祥一, ”山形鋼筋かい端接合部に対する乾式補強、その 8 背面付加材による乾式補強の有限要素法を用いた数値解析,” 日本建築学会学術講演梗概集, 2019. 9
- (4) 平田博宗, 真辺高勢, 須崎由也, 薩川恵一, 吉敷祥一, ”山形鋼筋かい端接合部への背面付加材による乾式補強効果の実験的検証,” 日本鋼構造協会鋼構造年次論文集, 2019. 11